Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Wärmebilanzgrößen bei einem Daueraufenthalt in trockenheißem Klima und in einem aequivalenten feuchtheißen Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Mahmood Al-Samarai
aus Bakuba/Irak

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547609_0120

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H.-J. Knüttgen

Wärmebilanzgrößen bei einem Daueraufenthalt in trockenheißem Klima und in einem aequivalenten feuchtheißen Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Mahmood Al-Samarai
aus Bakuba/Irak

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H. J. Knüttgen

Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Einleitung und Literatur 1

Fragestellung 3

Methode 4

Berechnungen 8

Ergebnisse 11

Diskussion der Ergebnisse 17

Vergleich der Wärmebilanzgrößen in trockenheißem und in feuchtheißem Klima 22

Zusammenfassung der Ergebnisse 30

Literaturverzeichnis 32

Einleitung und Literatur

Zur Aufrechterhaltung der physiologischen Körpertemperatur im heißen Klima bedarf es der Gegenregulation, die insbesondere von den Schweißdrüsen übernommen wird, um die Abgabe der gestauten Wärme zu erleichtern.

Es wurden bereits Untersuchungen über den Akklimationsprozeß sowohl im natürlichen Klima (Adolph 1947, Adolph und Dill 1938, Dill et al. 1938, Henschel 1963, Höfler 1966, Jungmann 1962, Lee 1963, Macpherson 1960) als auch im künstlichen Klima (Eichna et al. 1945, Eichna et al. 1950, Gläser 1950, Henschel et al. 1943, Horvath 1946, Ladell 1951, Robinson et al. 1941, Robinson et al. 1943, Robinson 1965, Schmoll 1966, Strydom et al. 1966, Tylor et al. 1943, Wenzel 1961, Wyndham 1954, Wyndham et al. 1960) vorgenommen. Die bei diesen Versuchen gewonnenen Ergebnisse stimmten nicht immer überein, da nicht identische Versuchsbedingungen herrschten (Edholm et al. 1963).

Der menschliche Organismus ist nur bei einer bestimmten Kerntemperatur leistungsfähig. Wird diese Grenze über- oder unterschritten kommt es zu einer Funktionsstörung des Wärmezentrums und bei fortschreitendem Prozeß zum Erliegen der körperlichen Funktionen.

Der Wärmetransport vom Kern zur Schale erfolgt durch Konvektion auf dem Blutwege. Um die nötige Wärmemenge vom Kern zur Schale zu transportieren, muß die Hauttemperatur mindestens 1 Grad C unter der Kerntemperatur liegen, wenn der Körper noch in der Lage sein soll, die nötigen Wärmemengen zwischen Kern und Schale auszutauschen und an die Umgebung abzuführen. Andernfalls steigt die Kerntemperatur

unaufhaltsam an (Lehmann 1965).

Die Wärmeabgabe,die von der Außentemperatur und der Luftbewegung abhängig ist, erfolgt durch Strahlung und Leitung. Bei zunehmender Außentemperatur ändert sich die durch Strahlung abgegebene Wärmemenge mit der 4.Potenz der Differenz zwischen Haut und Umgebung (Stefan-Boltzmann). Die Ableitung der Wärme durch Konvektion hängt von der Außentemperatur in einem linearen Verhältnis ab, von der Veränderung der Luftbewegung proportional zu der Quadratwurzel der Geschwindigkeit (Höfler 1963). Die Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung kann nur erfolgen, wenn die Hauttemperatur höher als die Umgebungstemperatur ist, sonst nimmt der Körper von der Umgebung Wärme auf. Durch die Verdunstung von Schweiß wird bei hohen Temperaturen Wärme von der Körperoberfläche an die Umgebung abgegeben - ca. 600 kcal (Gagge 1940, Lehmann 1965, Leithead und Lind 1964) werden dabei dem Körper entzogen. Die Aufrechterhaltung der Wärmebilanz in heißem Klima hängt nicht eigentlich von der zunehmenden Schweißproduktion ab, sondern von der Größe der Schweißverdunstung. Deren Größe wird durch das Dampfdruckgefälle zwischen Hautoberfläche und Umgebung sowie durch die Luftgeschwindigkeit bestimmt (Nelson et al. 1947, Clifford et al 1959). Da die vollwasserdampfgesättigte Luftschicht über der Hautoberfläche ständig durch Luftbewegung ersetzt wird, kann auch bei vollwasserdampfgesättigter Luft bei einer entsprechenden Windgeschwindigkeit noch Verdunstung stattfinden, sobald die direkt über der Hautoberfläche liegende Luftschicht durch die Hauttemperatur erwärmt und dadurch ein Sättigungsdefizit erreicht wurde. Die günstige Beeinflussung der Verdunstung durch die Windgeschwindigkeit hat eine Grenze. Die optimale Schweißverdunstung wird bei einer Lufttemperatur von 48,9 Grad C

und einer Feuchttemperatur von 29,4 Grad C bei 100 ft/min. erreicht (Leithead und Lind 1964).Wird die Luftzufuhr weiter erhöht, so nimmt die Verdunstungskapazität wieder ab.

Die Zunahme der Schweißmenge ist ein sehr entscheidender Faktor bei der Hitzeakklimatisation (Bean und Eichna 1943, Robinson et al. 1943, Taylor et al. 1943, Ladell 1951, Belding und Hatch 1963). Das Ergebnis eines Versuches von Ladell mit 17 Versuchspersonen brachte eine mittlere Zunahme der Gesamtschweißmenge von 1100 gr. am 1ten Tag auf 1560 gr. am 9ten Tag.Die Hälfte der Zunahme erfolgte in den ersten 3 Tagen.Ebenso gelang es Ladipoh (1969) durch einen Versuch im feuchtheißen Klima nachzuweisen, daß die Schweißmenge bei Hitzeakklimatisation sich verdoppelte,dagegen ist die Schweißproduktionszunahme in trockenheißem Klima viel geringer als in feuchtheißem Klima. Bei längerem Aufenthalt in natürlichem tropischen Klima fiel die Schweißmenge schließlich wieder ab (Macpherson 1960). Neuerdings wurde dieses -verschiedentlich schon bezweifelte- Verhalten auch in Klimakammerversuchen unter trockenheißen Bedingungen beobachtet (Schwemmlein 1969, van Ackeren 1971).

Fragestellung

Klimakammerversuche in feuchtheißem Klima (Ladipoh 1969, Brisbane 1969, Höfler e.a. 1969) hatten gezeigt, daß sich aus Wärmebilanzschätzungen Aufschlüsse über den "Nutzeffekt" der Schweißbildung gewinnen lassen. Bei Unakklimatisierten war die Verdunstung kleiner als die maximale Verdunstungskapazität, die Haut also

zunächst nicht voll befeuchtet, obwohl ein Teil des Schweißes schon unverdunstet abtropfte. Erst mit einer unverhältnismäßig großen Zunahme der Schweißmenge wird im Laufe der Hitzeakklimatisation volle Hautfeuchte und damit die maximal mögliche Verdunstung erreicht.

Bei etwa gleich großem Belastungsgrad ist die Schweißmenge des Unakklimatisierten in trockenheißem Klima wesentlich größer, nimmt aber mit der Akklimatisation weniger zu als in feuchtheißem Klima.

Es erscheint daher lohnend, die Größen, Schweißmenge, Verdunstung und Verdunstungskapazität bei der Akklimatisation in einem trockenheißen Klima zu untersuchen und mit dem Verhalten dieser Größen bei derselben Vp in etwa gleichbelastendem feuchtheißem Klima vor und am Ende der Akklimatisation zu vergleichen.

M E T H O D E

Vortraining

Dem Klimakammer-Daueraufenthalt ging ein fünftägiges Training voraus. Hierbei bestand dieselbe Arbeitsbelastung wie später unter der Hitzeakklimatisation, es herrschte jedoch normale Zimmertemperatur.

Versuchsdauer und Klimabelastung

Der Klimakammer-Daueraufenthalt erstreckte sich über einen Zeitraum von fast 5 Wochen (33 Tage). Nur am ersten und letzten Tag bestand ein feuchtwarmes Klima (Trockentemperatur von 36,5° C und Feuchttemperatur 32,3° C

entsprechend einer relativen Luftfeuchtigkeit von 74%). An den übrigen Tagen, und zwar vom 2. bis 32.Tag, bestand ein trockenheißes Klima. Dabei wurde die Hitzebelastung für den Tag größer gehalten als für die Nacht. Von 8.00 - 19.00 Uhr betrug die durchschnittliche Feuchttemperatur 28,1° C mit Schwankungen von ± 1° C und die durchschnittliche Trockentemperatur 41,4° C mit Schwankungen von ± 0,5° C. Dies entspricht einer durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit von 39%. Während der Nacht, und zwar zwischen 19.00 - 8.00 Uhr, wurde bei unveränderter relativer Feuchte die Trockentemperatur auf 36° C gesenkt. Tag und Nacht sorgte die Windmaschine der Klimakammer für ein gleichmäßiges Raumklima. Die Windgeschwindigkeit betrug durchschnittlich 0,5 m/sec (beim Fahren in unmittelbarer Nähe der Versuchsperson mit Hitzdrahtanemometer gemessen).

Arbeitsbelastung

Die Arbeit bestand im Treten eines Fahrradergometers bei einer Leistung von 8 mkp/sec . Die gesamte Arbeit wurde auf 4 Einzelarbeiten von je 50 Min. Dauer verteilt. Zwischen die Einzelarbeiten trat jeweils eine ca. 10 Min. lange Ruhepause. Jeweils vor der ersten Arbeit, meist zwischen 10.00 und 10.30 Uhr, wurden während einer halbstündigen Ruheperiode die Ausgangswerte gemessen.

Messungen

Alle 5 Minuten wurden folgende Messungen vorgenommen :

1. die Feucht- und Trockentemperatur des Kammerklimas,

2. die Pulsfrequenz der Vp mittels eines photoelektrischen Zählers am Ohr (Messungen hier nicht mitgeteilt),
3. die Hauttemperaturen von Stirnmitte, li. Handrücken, li. Brust und li. Oberschenkel mittels Thermoelementen.

Nach der Ruheperiode und nach den einzelnen Arbeiten wurde die Rektaltemperatur mit Hilfe eines gewöhnlichen Quecksilberthermometers auf 1/10° C genau bestimmt.

Die während der Arbeiten am ganzen Körper erlittenen Schweißverluste wurden aus der Differenz des Körpergewichtes berechnet, das vor und nach jeder Arbeit mit einer medizinischen Waage bestimmt wurde. Die Wägungen wurden an den unbekleideten Vp auf 50 g genau vorgenommen.

Die regionale Verteilung der Schweißsekretion wurde in Anlehnung an die Methode von WEINER (1945) bestimmt. Im Anschluß an die 4.Arbeit wurde sie in den beiden ersten Versuchswochen täglich gemessen, in der restlichen Zeit nur jeden zweiten Arbeitstag. Hierzu wurden auf der Haut 18 Plexiglasringe von 4 cm Durchmesser und 2 cm Höhe befestigt, die Temperatur der eingeschlossenen Haut gemessen, die Hautareale getrocknet und die Ringe mit Parafilm- "M"-Folie für 6 Min. luftdicht abgeschlossen. Der in dieser Zeit gebildete Schweiß wurde dann mit abgewogenen Wattebäuschchen von den Hautarealen gesammelt. Aus der Gewichtszunahme der Wattetupfer errechnete sich die pro Flächen- und Zeiteinheit von dem Hautbezirk sezernierte Schweißmenge. Um zu repräsentativen Schweißwerten für die Körperbezirke Kopf, Stamm, Arm und Bein zu kommen, genügte es bereits, an lo Körperstellen lokale Schweißmessungen vorzunehmen (BEN JELLOUN 1969, HÖFLER 1968[b]).Die 18 Kapseln waren in meinem Versuch an

folgenden Stellen angebracht :

Stirn, Wange, li. seitliche Halsregion, re. Schulterblatt, unterhalb der li. Brustwarze, seitliche Thoraxregion unterhalb der re. Achsel und über dem Rippenbogen (li.), re. seitlicher Unterbauch, Innen- und Außenseite des li. Ober- und Unterschenkels und ventrale und dorsale Seite des Oberschenkels.

Die Größe der Körperfläche beträgt -berechnet nach DUBOIS (1915)- 18.239 cm^2 (Arme: 3.423 cm^2, Kopf: 1.131 cm^2, Stamm: 6.503 cm^2 und Beine: 7.172 cm^2).

Die vom re. Unterarm und Unterschenkel während der 1. und 4.Arbeit sezernierten Schweißmengen wurden in Plastiksäckchen gesammelt, die knapp unterhalb des Ellbogens bzw. des Knies mit breiten Gummilitzen abgebunden waren. Die Mengenbestimmung erfolgte in einem Meßzylinder.

Flüssigkeitsersatz

Die im Verlauf einer Arbeit dem Körper durch das Schwitzen verlorengegangene Flüssigkeitsmenge wurde während der folgenden Arbeit durch Trinken entsprechender Mengen an Tee, Limonade und Coca-Cola voll ersetzt, so daß stets eine ausgeglichene Flüssigkeitsbilanz bestand.

Angaben zur Versuchsperson

27jähriger Mitteleuropäer von 176 cm Körpergröße und 75 kg Körpergewicht, dunkelhaarig.

Berechnung der Wärmebilanzgrößen

1) Berechnung der Wärmeinhaltsänderung $\triangle H$

RT = Rektaltemperatur

$\triangle RT = RT_{Ruhe} - RT_{Arbeit}$

spezifische Wärme = 0,83 kcal/°C . kg
Körpergewicht der Vp = 75,0 kg

$\triangle H = \triangle RT \cdot 0,83 \cdot 75,0$ kcal/h (Höfler)

Die Wärmeinhaltsänderung $\triangle H$ ergibt sich aus der Multiplikation der Rektaltemperaturdifferenz (Ruhe-Arbeit) mit dem Körpergewicht der Vp .

2) Berechnung der Hauttemperaturen TH und des Sättigungsdefizits (Hautfeuchte-Luftfeuchte)

Die Hauttemperatur wurde alle 5 Minuten an verschiedenen Körperstellen (Stirn, Brust, Handrücken, Oberschenkel) ermittelt, und aus deren einfachen Werten wurde ein gemeinsamer Mittelwert errechnet.Ebenso wurde die Berechnung der Trocken- und Feuchttemperatur durchgeführt.Die Differenzen der Haut- und Trockentemperaturen wurden für jede Arbeitsstunde errechnet.Der Wasserdampfdruck an der Hautoberfläche und in der Kammer (Luft) wurde während jeder Arbeitsstunde aus dem Sättigungsdampfdruck bei der betreffenden Temperatur und der relativen Feuchte errechnet (Geigy-Tabellen) .

3) Berechnung des Gesamtstoffwechsels M

$M = U_{Arbeit} + U_{Grund}$

$U_{Grund} = 70$ kcal

$U_{Arbeit} = 56 \cdot 3 = 168$ kcal/h
bei einem Wirkungsgrad von 25%
(Standard von Fleisch und von
Robertson-Reid, Geigy-Tabellen) .

4) Berechnung der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung Q_{c+s}

Q_c = Konvektionswärmestrom

Q_s = Strahlungswärmestrom

$Q_c = 0{,}23 \cdot \text{Windgeschwindigkeit}^{0{,}62}$ kcal/m^2 . h . ^oC
(Wind in ft/min.) (Höfler WS 67/68)

($^oC = T_{Haut} - T_{Luft}$, Clifford 1959)

$Q_c = 0{,}23 \cdot 17{,}38$ kcal/m^2 . h . ^oC

$Q_c = 4{,}0$ kcal/m^2 . h . ^oC

$Q_s = 4{,}85$ kcal/m^2 . h . ^oC

Mit der Annahme, daß 80% der Körperoberfläche am Strahlungswärmeaustausch beteiligt sind, ergibt sich :

$Q_s = 4{,}85$ kcal/m^2 . h . ^oC . 0,80

$Q_s = 3{,}88$ kcal/m^2 . h . ^oC

$Q_{c+s} = 7{,}88$ kcal/m^2 . h . ^oC

5) Berechnung der verdunsteten Schweißmenge Q_v

Die Verdunstungsgröße V wird aus dem Umsatz M, der Wärmespeicherung ΔH und dem Konvektions- und Strahlungswärmestroms $Q_{c,s}$ berechnet.

$$V = M \pm Q_{s,c} \pm \Delta H$$

$$V = 238 \pm 7{,}88 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^{\circ}\text{C} \pm \Delta H$$

$$V = 238 \pm 7{,}88 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^{\circ}\text{C} \pm \Delta RT \cdot 0{,}83 \cdot 75 \text{ kcal}$$

6) Berechnung der Verdunstungskapazität C

Die Verdunstungskapazität ist die maximale Schweißmenge, die unter den jeweils gegebenen Bedingungen pro Zeiteinheit verdunstet werden kann. Da die verdunstbare Schweißmenge von der Windgeschwindigkeit und von dem Wasserdampfdruck auf der Hautoberfläche und in der Luft abhängt, ist die Verdunstungskapazität aus einer Verdunstzahl K, der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Hautoberfläche und Luft und der Körperoberfläche in m^2 zu berechnen.

$$C = K \ (e_H - e_L) \text{ kcal/h} \quad (\text{Höfler 67/68 })$$

K wurde nach Clifford folgendermaßen ermittelt :

$$K = 0{,}45 \cdot \text{Windgeschw.}^{0{,}63} \cdot \text{Torr} \cdot \text{m}^2 \text{ (kcal/h)}$$

$$K = 8{,}19 \cdot \text{kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Torr}$$ (Torr = Geigy-Tab. 260)

$$K = 8{,}19 \cdot 1{,}82 \text{ kcal/h} \cdot \text{Torr}$$

$$K = 14{,}92 \text{ kcal/h} \cdot \text{Torr}$$

$$C = 14{,}92 \ (e_H - e_L) \text{ kcal/h}$$

7) Berechnung der produzierten Schweißmenge S in kcal

S in L . 0,58 = S in kcal
S = Gesamtschweißmenge in L/h . 0,580 = kcal/h

Ergebnisse und Diskussion

Während des ganzen 5-wöchigen Versuches blieben die Sonntage arbeitsfrei. Daraus erklären sich die Lücken im Kurvenverlauf.

Der Versuch begann am ersten Tag in feuchtheißem Klima. Da die Belastung für die Vp zu groß war, so daß sie unter Kollapserscheinungen litt (erhöhter Puls, erhöhte Kerntemperatur), mußte der Versuch nach 2 Stunden abgebrochen werden. Um das Ergebnis einer 4-stündigen Arbeitszeit zu erreichen, wurden die Werte des ersten Arbeitstages -ausgenommen die Werte von $\triangle$ H- mit 2 multipliziert. Zur Kontrolle des Ergebnisses wurden die wahren Werte des 4-stündigen Arbeitstages durch 2 dividiert. Die errechneten Werte vom ersten und letzten Versuchstag wurden dabei in Klammern gesetzt.

Die Wärmeinhaltsänderung $\triangle$ H (Abb. 1b)

Am ersten Tag in feuchtheißem Klima betrug die Wärmeinhaltsänderung bei 2-stündiger Arbeit 163,8 kcal , am zweiten Versuchstag bei trockener Hitze lag sie bei 170 kcal/4 h. An diesem Tag war die gestaute Wärme am größten während des ganzen Experiments. In dem Zeitraum 2. - 5.Tag fiel die gesamte Wärmespeicherung von 170 kcal/4 h auf 81,0 kcal/4 h ab.

Der Gesamtkurvenverlauf von $\triangle H$ zeigt eine deutliche, wenn auch unregelmäßige Abnahme. In der letzten Arbeitswoche (28. - 32. Tag) lagen die mittleren Werte der Wärmeinhaltsänderung ungefähr bei 58 kcal/4 h. Dagegen betrugen die mittleren Werte der ersten 4 Tage 131 kcal/4 h. Auch im feuchten Klima läßt sich eine Abnahme erkennen und zwar von 163,8 kcal/2 h am ersten Tag auf 119 kcal/4 h am letzten Tag.

Die Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung Q_{s+c} (Abb. 1a)

Während der gesamten Versuchsdauer weist der Kurvenverlauf eine geringe Steigerung auf mit leichten Schwankungen. Am ersten Tag in feuchtheißem Klima betrug die Wärmeabgabe - 55 kcal/4 h , am letzten Arbeitstag, wiederum in feuchtheißem Klima, war die Wärmeaufnahme sehr gering, nämlich + 8,8 kcal/4h .

Die Änderung der Verdunstungsgröße V (Abb. 2b)

Die Verdunstung hat während des Versuches mit Schwankungen zugenommen, wie der leicht ansteigende Gesamtkurvenverlauf erkennen läßt. Auch die Mittelwerte für die Zeit vom 2. - 15.Tag mit 1169 kcal/4 h und vom 16. - 31.Tag mit 1236 kcal/4 h geben die Steigung wieder. Der Mittelwert der Gesamtkurve liegt bei 1202 kcal/4 h . Ein Maximum in der Verdunstung zeigt der 32.Tag mit einem Wert von 1288,5 kcal/4 h. Die Arbeitswerte für den 1. und 33. Tag in feuchtheißem Klima können der Tabelle 2 entnommen werden.

Änderung der Verdunstungskapazität C (Abb. 3)

Im Verlauf der Kurve der Verdunstungskapazität lassen sich

drei Maxima erkennen :

am 3.Tag mit 1392 kcal/4 h
am 17.Tag mit 1484 kcal/4 h
am 28.Tag mit 1484 kcal/4 h

Zum Vergleich sollen die Mittelwerte der zweiten Arbeitswoche (7. - 12.Tag) mit 1242 kcal/4 h und der vierten Arbeitswoche (21.-26.Tag) mit 1255 kcal/4 h gegenübergestellt werden. Aus diesen Vergleichswerten läßt sich erkennen, daß die Verdunstungskapazität starken Schwankungen unterlag. Insgesamt ist keine Änderung festzustellen. Die Werte des 1. und 33.Tages in feuchtheißem Klima können den Tabellen entnommen werden (Seite 24 u. 25).

Die Änderung der Gesamtschweißmenge S in kcal (Abb.2a)

Vom 2. bis zum 21. Tag weist die Kurve der Gesamtschweißmenge eine geringe Steigung auf, ab da kommt es zu einer leichten Abnahme. Die Gegenüberstellung des Minimums vom 2.Tag mit 1467 kcal/4 h mit dem Maximum des 21.Tages mit 1984 kcal/4 h läßt die Steigung besonders deutlich werden.

Der Mittelwert der 3.Arbeitswoche mit 1823 kcal/4 h liegt um 12% über dem der ersten Woche mit 1613 kcal/4 h . Die tägliche Schweißmengenzunahme vom 2. bis zum 19.Tag beträgt 16,24 kcal/4 h . Dagegen beträgt die Schweißmengenabnahme ab dem 21. bis zum 32.Tag 18,04 kcal/4 h , in Mittelwerten ausgedrückt kommt dies einer Abnahme in der 4.Arbeitswoche mit 1860,0 kcal/4 h auf 1776 kcal/4 h in der 5.Woche gleich. Diese Abnahme der Gesamtschweißmenge nach der 3.Woche ist signifikant (Diss. Schwemmlein).

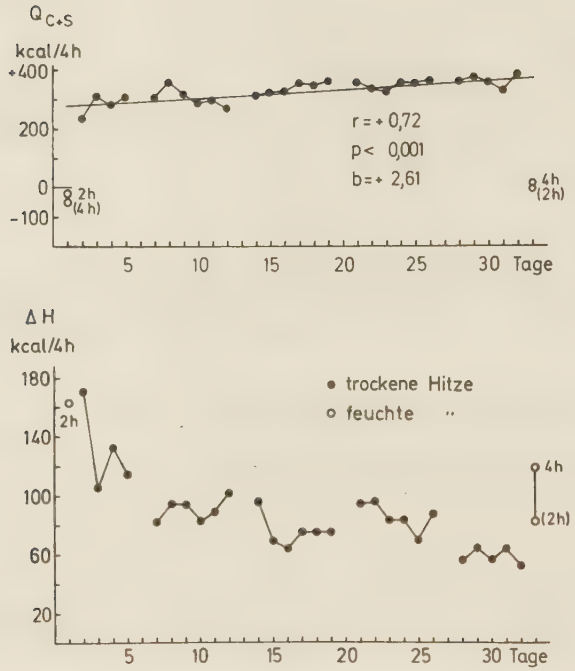

Abb. 1a (oben): Änderung der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung Q_{s+c} im Laufe der Akklimatisation

Abb. 1b (unten): Verhalten der Wärmeinhaltsänderung $\triangle H$ im Laufe der Akklimatisation

Erklärung zu den Abbildungen

b = Steigungsmaß

r = Linearer Korrelationskoeffizient

p = Zufallswahrscheinlichkeit

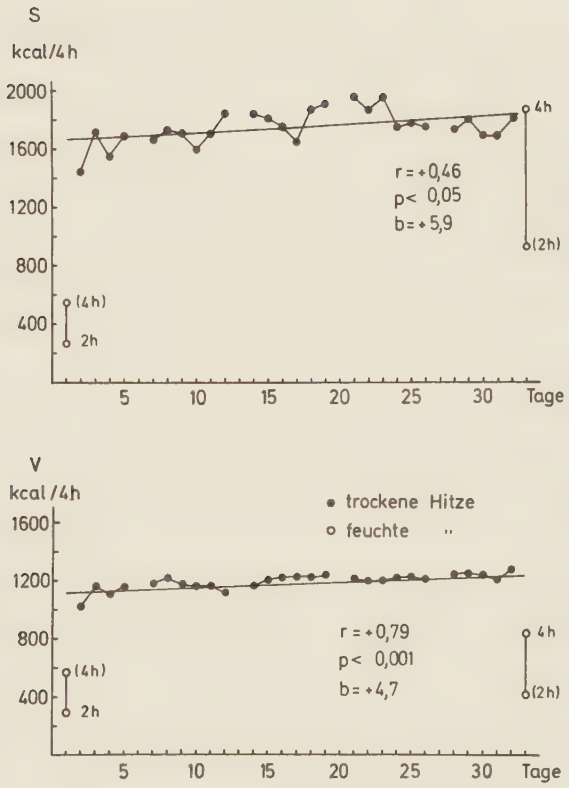

Abb. 2a (oben) : Änderung der Schweißmenge im Laufe der Akklimatisation

Abb. 2b (unten) : Änderung der Verdunstungsgröße V im Verlauf der Akklimatisation

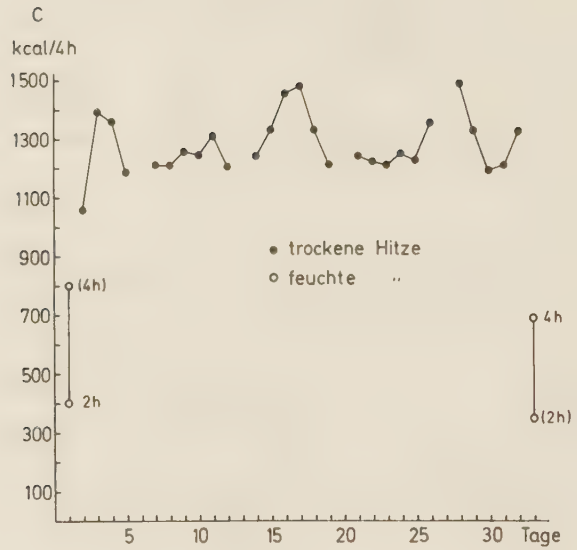

Abb. 3 : Änderung der Verdunstungskapazität C im Laufe der Akklimatisation

Diskussion der Ergebnisse

1) Die Wärmeinhaltsänderung ΔH im Akklimatisationsverlauf

Die anfängliche Wärmestauung vom 2. - 5.Tag läßt sich dadurch erklären, daß die Vp noch nicht akklimatisiert war, somit kam es auch zu einer Erhöhung der Kerntemperatur. Der ΔH-Abfall im Laufe der Akklimatisation findet seine Begründung darin, daß eine Anpassung des Organismus an die Hitzebedingungen erfolgt war. Die Ursache hierfür ist eine Zunahme der Schweißproduktion und der Wärmeabgabe durch Verdunstung.

BRISBANE hat in einem Versuch festgestellt, daß die Wärmespeicherung ΔH von 104 kcal/3 h auf 80 kcal/3 h innerhalb von 18 Tagen abgefallen war. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen ROBINSON et al., HÖFLER (72tägiger Selbstversuch in natürlichem tropischen Klima, der Abfall der Kerntemperatur von Trommelfell und Mund betrug 0,7 °C), SCHMOLL (3wöchiger Selbstversuch in einer Klimakammer, bei diesem Versuch fiel die anfangs hohe Kerntemperatur während der Vormittags- und Nachmittagsarbeit von 38,4 bzw. 38,8 °C bis zum 21.Tag auf 37,2 °C).

In der vorliegenden Arbeit fielen die Mittelwerte in trockener Hitze von 130,7 kcal/4 h am 2. - 5.Tag auf 58,3 kcal/4 h am 29. - 32.Tag. In feuchtheißem Klima betrugen die Werte am 1.Tag 327,6 und am 33.Tag 119 kcal/4 h.

2) Die Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung Q_{s+c}

Während der Versuchsdauer stieg die Wärmeaufnahme Q_{s+c}, gemessen an den Mittelwerten des 2. - 5.Tages, von

292 kcal/4 h auf 360,6 kcal/4 h am 29.-32.Tag an. Das beruht darauf, daß im Laufe des Versuches die Haut - temperatur abfiel und es dadurch zu einer Wärmeaufnahme des Körpers aus der Umgebung kam. Die Abkühlung der Haut erfolgte durch zunehmende Schweißverdunstung. Mit der Zunahme der Schweißproduktion und der damit verbundenen Steigerung der Verdunstung war ein Absinken der Hauttemperatur verbunden.

In feuchtheißem Klima lag die Wärmeabgabe Q_{c+s} am 1.Tag bei - 55 kcal/4 h, d.h. zu Beginn des Akklimatisationsprozesses war die Schweißproduktion noch nicht so groß, um den erforderlichen evaporativen Kühleffekt zu gewährleisten. Die Hauttemperatur war höher als die Lufttemperatur. Dagegen lag die Wärmeaufnahme am letzten Arbeitstag, in feuchtheißem Klima, bei + 8,8 kcal/4 h, weil durch die zunehmende Schweißproduktion und die damit verbundene Steigerung der Verdunstung ein Abfall der Hauttemperatur zustande kam.

3) Die Verdunstungsgröße V

Die Zunahme der Wärmeabgabe durch Verdunstung ist aus den Tabellen ersichtlich:
Gegenüber dem Mittelwert des 2. - 5.Tages mit 1114 kcal/4 h stieg der Wert im Laufe der Akklimatisation auf 1257 kcal/4 h am 29. - 32.Tag .

Die Zunahme der Schweißverdunstung beruht auf der Zunahme der Schweißproduktion im Laufe des Akklimatisationsprozesses, es kommt zu einer vollständigen Wasserbedeckung der Haut, so daß eine genügende Verdunstung bei niedrigerer und nur wenig

ansteigender Körpertemperatur erreicht wird.

Die Verdunstungswärmeabgabe in feuchter Hitze lag am 1.Tag bei 569 kcal/4 h und betrug am 33.Tag 841 kcal/4 h. Aus der Gegenüberstellung der Verdunstungswerte in feuchtheißem und in trockenheißem Klima läßt sich erkennen, daß im trockenheißen Klima die Verdunstungswerte höher liegen, da durch die trockene Hitze die Wärmeabgabe erleichtert wird. FISCHER kam bei seinen Versuchen zu gleichem Ergebnis.

4) Die Verdunstungskapazität C

Die Verdunstungskapazität ist die Schweißmenge,die bei den gegebenen Bedingungen (Hauttemperatur und Klima) maximal verdunsten kann.
In der vorliegenden Arbeit ist C starken Schwankungen unterworfen. Die Gesamtkurve weist drei Maxima auf, das besagt, daß die Hauttemperaturen an den Tagen mit den Maximalwerten zu hoch lagen. Insgesamt läßt sich keine Änderung der Verdunstungskapazität erkennen.

Bei anderen Versuchen (LADIPOH,BRISBANE) nahmen die Werte in den ersten 3 Tagen von 800 kcal/3 h auf 920 kcal/3 h zu und fielen auf einen Durchschnittswert von 690 kcal/3 h ab. Bei BRISBANE fiel die Verdunstungskapazität während des Akklimatisationsprozesses von 630 kcal/3 h auf 560 kcal/3 h ab.

Bei dem vorliegenden Versuch in trockenheißem Klima betrugen die Werte am 2. - 5.Tag 1251 kcal/4 h, am 29. - 32.Tag 1264 kcal/4 h.

5) Die Gesamtschweißmenge S

Eine Steigerung der Schweißproduktion wird bei allen Hitzeakklimatisationsprozessen bemerkt, sei es in der Klimakammer oder bei Versuchen in natürlichem tropischem Klima. ROBINSON hatte in einem Versuch einen Anstieg der Schweißproduktion von 0,1 auf 1,3 kg/m^2/h zu verzeichnen. LADELL stellte bei seinen Versuchen in Nigeria ebenfalls eine Zunahme der Schweißbildung von 1100 g am ersten Tag auf 1560 g am 9.Tag fest. Bei Versuchen von SCHMOLL ergab sich beinahe eine Verdoppelung der Schweißmenge am 15.Versuchstag . HÖFLER beobachtete in seinen Versuchen in Abeokuta/ Nigeria, daß die Schweißproduktion in den ersten 10 bis 20 Tagen zunahm. Die Klimakammerversuche von LADIPOH und LAASER mit Daueraufenthalt in feuchtheißem Klima hatten eine Verdoppelung der Schweißproduktion zum Ergebnis. BRISBANE stellte eine Verdoppelung der Schweißmenge am 15.Tag fest.

Bei der vorliegenden Arbeit stieg die Schweißmenge am ersten Tag in feuchtheißem Klima von 562 kcal/4 h auf 1879 kcal/4 h am 33.Tag an. Die Mittelwerte des 2. - 5.Tages in trockenheißem Klima lagen bei 1614 kcal/4 h und stiegen auf 1754 kcal/4 h am 29. - 32.Tag an. Während der 4-stündigen Arbeit nahm die Schweißmenge bis zum 18.Tag um durchschnittlich 16,14 kcal (28 ml) pro Tag zu. Dagegen betrug bei dem Versuch von LAASER die durchschnittliche Schweißzunahme etwas mehr als 58 kcal (100 ml) pro Tag in feuchtheißem Klima. In trockenheißem Klima wird die Schweißmenge im Laufe des Akklimatisationsprozesses nur um 25 - 30% gesteigert, im feuchtheißen Klima dagegen um 100% und mehr (HÖFLER).

Seit den Arbeiten von EICHNA et al. (1945,1950), LADELL (1951), ROBINSON et al. (1943,1947), TAYLOR et al. (1943) gilt die Zunahme der Schweißproduktion als der entscheidende Faktor des Akklimatisationsprozesses der kurzfristigen, bis zu 2 - 3 Wochen andauernden Hitzeakklimatisation (SCHWEMMLEIN 1969). Es fiel dabei auf, daß diese Schweißzunahme in trockenheißem Klima wesentlich geringer ist als in feuchtheißem Klima (BELDING und HATCH 1963, FOX et al. 1967, GERKING und ROBINSON 1947, HÖFLER 1968). Die Ursachen für die höheren Ausgangswerte der Schweißproduktion bei trockener Hitze liegt in einem schwächeren Abfall der Schweißproduktion bei mehrstündiger Belastung (FOX et al. 1967, ROBINSON et al. 1947). Die Werte der ersten Stunde wiesen dementsprechend noch keine größeren Unterschiede auf. Dagegen liegen die Werte der 4.Stunde während der ersten Woche bei trockener Hitze mit durchschnittlich 9,6 ml/kg/h um etwa 50% über den Vergleichswerten der Versuche in feuchtheißem Klima (SCHWEMMLEIN 1969).

Der genaue Mechanismus dieser Schweißproduktionsabnahme bei mehrstündiger Belastung ist trotz zahlreicher experimenteller Befunde noch nicht völlig geklärt. Fest steht jedoch, daß es sich dabei nicht um einen zentralen Vorgang handelt (COLLINS und WEINER 1962, COLLINS et al. 1963, FOX 1962, 1964, 1967, THAYSSEN 1955), sondern um einen peripheren Mechanismus, der sich an den Schweißdrüsen selbst abspielt. Dabei ist — für das Absinken der Schweißmengen das Nachlassen der mittleren Schweißproduktion der einzelnen Drüse entscheidender als die Verringerung der Zahl der sezernierenden Drüsen (THAYSSEN 1955) .

Vergleich der Wärmebilanzgrößen in trockenheißem und in feuchtheißem Klima: (Tabellen 1 und 2 , Abb. 4)

Am ersten Arbeitstag im feuchtheißen Klima mußte der Versuch nach 2 Arbeitsstunden abgebrochen werden, weil die Kerntemperatur den bedrohlichen Wert von 40,1 °C erreicht hatte. Am 2.Tag, im trockenheißen Klima, betrug die KT nach 2 Stunden dagegen nur 38,5 °C, nach 4 Stunden 39,7 °C. Trotzdem sind die beiden Klimakombinationen nach dem P4SR - Index etwa gleich belastend: Am letzten Tag betrug die Schweißmenge von 4 Stunden im feuchtheißen Klima 1879 kcal (= 3,24 L/4 h), in den letzten 4 Tagen bei trockenheißem Klima 1754 kcal (= 3,02 L/4 h). Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurden die Werte des ersten Tages auf 4 Stunden umgerechnet, die des letzten - ebenfalls feuchtheißen Tages - auf 2 Stunden. Der folgenden zusammenfassenden Betrachtung liegen die 4-Stundenwerte zugrunde.

Anfangs, im unakklimatisierten Zustand, beträgt die Verdunstungskapazität C mit 798 kcal/4 h im feuchtheißen Klima nur 64% der Verdunstungskapazität von 1251 kcal/4 h im trockenheißen Klima. Mit einer Schweißmenge von 562 kcal/4 h - 35% der 1614 kcal/4 h im trockenheißen Klima - wird eine Verdunstung von 569 kcal/4 h erreicht. Das sind nur 51% der 1114 kcal/4 h, die im trockenheißen Klima bereits vom Unakklimatisierten verdunstet werden könnten.

Die Schweißproduktion war im feuchtheißen Klima offenbar zunächst so stark gehemmt, daß nur 71% der maximal möglichen Verdunstung erreicht wurden, im trockenheißen Klima betrug das Verhältnis V/C dagegen schon beim Unakklimatisierten 0,89 . Die verhältnismäßig geringe Zunahme der Schweißmenge mit der Akklimatisation um 9% im trockenheißen Klima genügt für

eine praktisch vollständige Ausnutzung der Verdunstungskapazität (98%). Nach dem 4 1/2 Wochen dauernden Aufenthalt in dem trockenheißen Klima kann am letzten Tag bei feuchtheißem Klima eine um 238% größere Schweißmenge als am ersten Tag produziert werden. Jetzt wird auch hier die maximal mögliche Verdunstung erreicht. Der theoretisch unmögliche Quotient V/C von 1,17 liegt bei der relativen Unsicherheit der Hauttemperaturmessung und der verwendeten Wärmeübergangszahlen für einen Einzelwert im Rahmen der Streubreite. Eine Korrektur auf den wahrscheinlich richtigen Wert von etwa 760 kcal/4 h für die Verdunstung und Verdunstungskapazität würde das Ergebnis substantiell nicht verändern. Das für volle Hautfeuchte erforderliche Verhältnis S/C würde dann 2,48 statt 2,76 betragen. In beiden Fällen ergibt sich, daß im trockenheißen Klima schon der Unakklimatisierte eine für hohe Verdunstung ausreichende Schweißmenge produzieren kann. Die geringe Zunahme im Laufe der Akklimatisation genügt, um bei niedrigerer Hauttemperatur und damit niedrigerer Verdunstungskapazität die erforderliche Verdunstung beizubehalten. Im feuchtheißen Klima waren Schweißmenge und Verdunstung zunächst so klein, daß die Vp bereits nach 2 Stunden in die Zone der Hyperthermiegefahr geriet. Erst die Zunahme der Schweißmenge um mehr als das Dreifache ermöglichte eine ausreichende Verdunstung - wenigstens für die Dauer von 4 Arbeitsstunden. Ob die Vp noch eine weitere Stunde hätte arbeiten können, erscheint fraglich, da die Kerntemperatur während der 4. Arbeit von 38,5 auf 38,9 °C angestiegen war. Bei dieser Temperatur ist wahrscheinlich die Einstellung einer konstanten Kerntemperatur nicht mehr möglich (Wenzel 1968).

T A B E L L E 1

	feuchtheißes Klima			trockenheißes Klima		
	1.Tag		Vor der Akklimatisation	2.Tag		
	KT	S	V	KT	S	V
Ruhe	37,5			37,0		
1 Std.	39,2	132	124	38,1	276	215
2 Std.	40,1	282	285	38,5	669	499
3.Std.				39,3	1027	752
4.Std.				39,7	1468	1025

	33.Tag		Nach der Akklimatisation	32.Tag		
Ruhe	37,0			36,8		
1 Std.	38,1	563	169	37,7	520	274
2 Std.	38,3	1126	399	37,8	955	613
3 Std.	38,5	1580	624	37,5	1363	966
4 Std.	38,9	1879	841	37,6	1817	1286

T A B E L L E 2

Verdunstung, Verdunstungskapazität und Schweißmenge und die Quotienten dieser Größen vor und nach der Akklimatisation. Die eingeklammerten Werte sind von 2 auf 4 Stunden, bzw. von 4 auf 2 Stunden umgerechnet (kcal/2 Std. bzw. kcal/4 Std.).

feuchtheißes Klima

1.Tag	2 Std.	(4 Std.)	Änderung um Prozent		33.Tag	(2 Std.)	4 Std.
V	284	(569)	+ 40%	(+ 48%)		(399)	841
C	399	(798)	- 15%	(- 16%)		(341)	681
S	281	(562)	+ 234%	(+ 238%)		(940)	1879
V/C	0,71	0,71				1,23	1,17
S/C	0,71	0,71				2,76	2,76
S/V	1,0	1,0				2,23	2,35

trockenheißes Klima (Werte für 4 Stunden)

2. - 5.Tag		Änderung um Prozent	29. - 32.Tag
V	1114	+ 13%	1257
C	1251	± 0%	1264
S	1614	+ 9%	1754
V/C	0,89		0,99
S/C	1,29		1,39
S/V	1,45		1,40

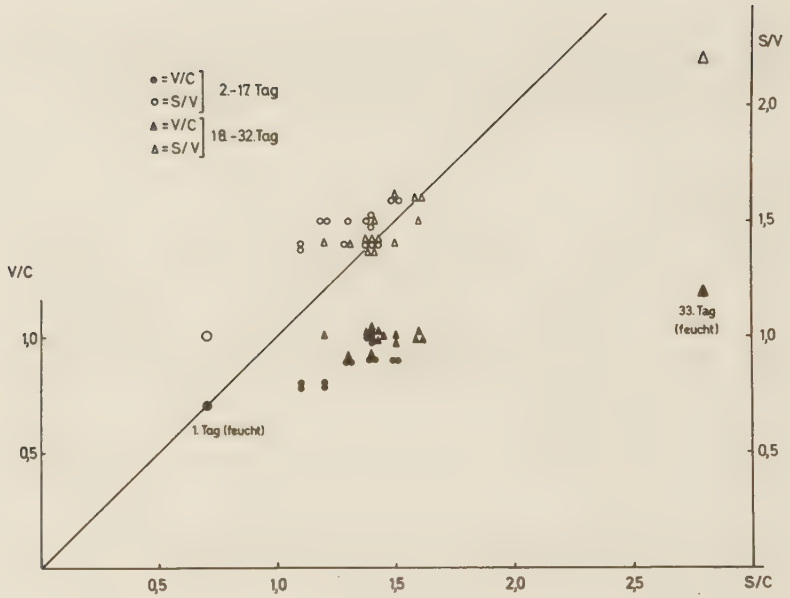

Abb. 4: Beziehung der Grössen V/C und S/V zur Grösse S/C

Besonders aufschlußreich ist eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse, bei der Schweißmengen und Verdunstungsgrößen nach 1, 2, 3 und 4 Stunden gegen die zu diesen Zeitpunkten erreichte Kerntemperatur aufgetragen werden (HÖFLER e.a. 1969, BRISBANE 1969, LADIPOH 1969). Dabei treten die Übereinstimmungen und die Unterschiede zwischen den beiden Klimakombinationen deutlich hervor (Abb.5) .

Am 1.Tag im feuchtheißen Klima steigt die KT in 2 Stunden auf 40 °C, weil die Schweißmenge und Verdunstung nur sehr niedrige Werte erreichen. Daß dabei die Verdunstung der Schweißmenge gleichkommt, ist darauf zurückzuführen, daß die Verdunstungsgröße aus der Wärmebilanzgleichung berechnet wird, die aber nur angewandt werden kann, wenn eine einigermaßen stabile Kerntemperatur erreicht wird. Repräsentativ für die tatsächlichen Verhältnisse am 1.Tag im feuchten Klima ist daher nur der flache Anstieg der Schweißproduktion über der fortlaufend steigenden KT.

Das andere Extrem der vollkommenen Akklimatisation zeigen die Kurven des letzten Tages im trockenheißen Klima (32.Versuchstag). Schweißbildung und Verdunstung beginnen schon bei niedrigerer KT, die bereits nach 1 Stunde ein stabiles Endniveau erreicht. In den weiteren Stunden sind Schweißproduktion und Verdunstung unabhängig von der KT.

Im Vergleich dazu zeigen die Kurven des letzten Tages in feuchtheißem Klima(33.Versuchstag), daß der 5-wöchige Aufenthalt in trockenheißem Klima nicht zu einer ganz idealen Toleranz gegenüber dem feuchtheißen Klima geführt hat. Schweißbildung und Verdunstung setzten zwar ebenfalls

bei niedriger KT ein als vor der Akklimatisation, auch ist der Kurvenverlauf viel steiler, doch wird keine vollständige Unabhängigkeit von der KT und damit Dauerleistungsfähigkeit erreicht. Bereits am ersten Tag in trockenheißem Klima (2.Versuchstag) wird bei einer im Vergleich zum 33.Tag etwas niedrigeren Schweißmenge schon eine etwas höhere Verdunstung erreicht. Wegen der hohen Wärmezufuhr aus der Umgebung genügt diese Verdunstung jedoch nicht für die Einstellung einer stabilen KT, die stärker ansteigt als am 33.Tag.

Obwohl im akklimatisierten bzw. weitgehend akklimatisierten Zustand in beiden Klimakombinationen annähernd gleiche Schweißmengen produziert werden, lässt sich aufgrund der Ergebnisse nicht eindeutig feststellen, ob die beiden Kombinationen als aequivalent angesehen werden können.

Im trockenheißen Klima ist der Belastungsfaktor die hohe Wärmezufuhr aus der Umgebung, die aber durch eine genügend hohe Verdunstung und entsprechend hohe Schweißproduktion ausgeglichen werden kann. Im feuchtheißen Klima ist der Belastungsfaktor die Behinderung der Verdunstung, die im dargestellten Falle auch durch die ausserordentlich starke Zunahme der Schweißmenge nicht über den Betrag gesteigert werden kann, der durch die Verdunstungskapazität festgelegt ist. Nur eine Zunahme der Verdunstungskapazität durch weiteres Ansteigen der Körpertemperatur könnte die Verdunstungsgröße steigern. Die Gefahr einer bedrohlichen Hyperthermie besteht nach wie vor.

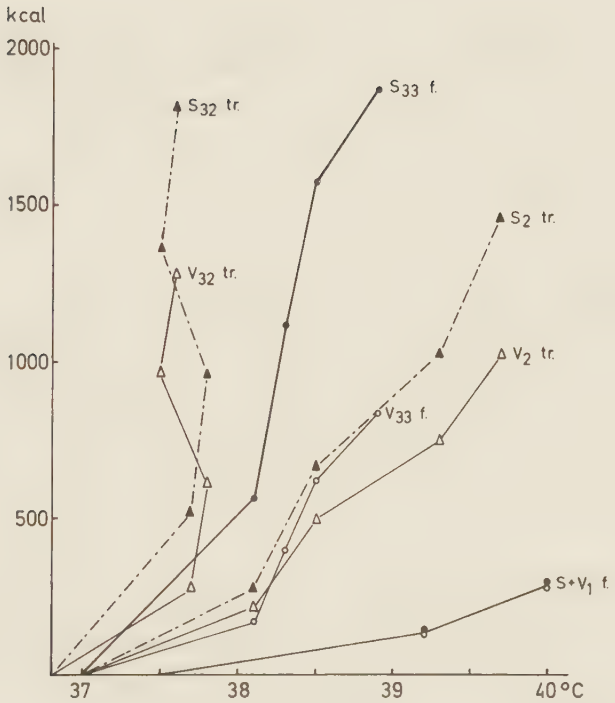

Abb. 5: Temperaturabhängigkeit von Schweissmenge und Verdunstung am jeweils ersten und letzten Tag im trockenheissen bzw. feuchtheissen Klima.
Werte der Tab.1.

Zusammenfassung der Ergebnisse

1.) Eine deutliche Abnahme der Wärmeinhaltsänderung $\triangle H$ im Laufe der Akklimatisation in trockenheißem Klima(durch Zunahme der Schweißproduktion)von 130,7 kcal/4 h auf 58,3 kcal/4 h, während die Abnahme in feuchtheißem Klima von 327,6 kcal/4 h auf 119 kcal/4 h geringer war.

2.) Eine Zunahme der Wärmeaufnahme durch Konvektion und Strahlung gemessen an den Mittelwerten des 2. - 5.Tages von 292 kcal/4 h auf 360,6 kcal/4 h am 29. - 32.Tag in trockenheißem Klima durch Abkühlung der Haut bei zunehmender Schweißverdunstung, während in feuchtheißem Klima die Wärmeabgabe am 1.Tag bei -55 kcal/4 h, am letzten Tag die Wärmeaufnahme bei +8,8 kcal/4 h lag.

3.) Anstieg der Verdunstung in trockenheißem Klima am 2. - 5.Tag von 1114 kcal/4 h auf 1257 kcal/4 h am 29. - 32.Tag, während der Verdunstungsanstieg in feuchtheißem Klima von 569 kcal/4 h auf 841 kcal/4 h geringer als in trockenheißem Klima war.

4.) Eine geringe Zunahme der Verdunstungskapazität in trockenheißem Klima von 1251 kcal/4 h auf 1264 kcal/4 h, dagegen eine Verdunstungskapazitätsabnahme in feuchtheißem Klima von 798 kcal/4 h am ersten Tag auf 681 kcal/4 h am letzten Tag.

5.) Eine geringe Schweißproduktionszunahme in trockenheißem Klima von 1614 kcal/4 h auf 1754 kcal/4 h, d.h. eine tägliche Zunahme von 28 ml bis zum 18.Tag, während eine starke Zunahme der Schweißproduktion

in feuchtheißem Klima von 562 kcal/4 h am 1.Tag auf 1879 kcal/4 h am 33.Tag festzustellen war.

6.) Eine Konstanz des S/V-Quotienten in trockenheißem Klima (1,45 bzw. 1,40). Im feuchtheißen Klima eine Zunahme des S/V-Quotienten von 1,0 auf 2,35.

LITERATURVERZEICHNIS

1. ADOLPH, E.F.: Physiology of man in the desert.New York: Interscience Publishers 1947

2. ADOLPH, E.F., D.B. DILL:
Observations of water metabolism in the desert.
Amer.J.Physiol. 123, 369 (1938)

3. BEN JELLOUN, M: Diss. Tübingen 1969

4. BELDING, H.S., T.F. HATCH:
Relation of skin temperature to acclimation and tolerance to heat
Fed. Proc. 22, 881 - 3 (1963)

5. BRISBANE, S.: Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in feuchtheißem Klima
Diss. Tübingen 1969

6. CLIFFORD, I., D.McK. KERSLAKE, I.L. WADELL:
The effects of wind speed on maximum evaporation capacity in man.
J.Physiol. (London) 147, 253 (1959)

7. COLLINS, K.J., J.S. WEINER:
Observations on arm-bag suppression of sweating and its relationship to thermal sweat gland "fatigue".
J.Physiol. (London) 161, 583 - 56 (1962)

8. COLLINS, K.J., G.W. CROCKFORD, J.S. WEINER:
The role of glandular activity in the increased sweat response of heat acclimatization
J.Physiol. 196, 12 - 3 (1963)

9. DILL, D.B., F.G. HALL, H.T. EDWARDS:
Changes in composition of sweat during acclimatization to heat
Amer.J.Physiol. 21, 99, 123, 412, (1938)

10. DUBOIS, D., E.F. DUBOIS: The measurement of the surface of man
Arch. Int. Med. 15, 868, (1915)

11. EDHOLM, O.G., R.H. FOX, J.M. ADAM, R. GOLDSMITH:
Comparison of artificial and natural acclimation
Fed. Proc. 22, 709 (1963)

12. EICHNA, L.W., W.B. BEAN, W.F. ASHE, N. NELSON:
Performance in relation to environmental temperature
Bull. Johns Hopkins Hosp. 76, 25 (1945)

13. EICHNA, L.W., CH.R. PARK, N. NELSON, S.M. HORVATH, E.D. PALMES: Thermal regulation during acclimatization in a hot, dry (desert type) environment
Amer. J. Physiol. 163, 585 (1950)

14. FISCHER: Dissertation Tübingen 1970

15. FOX, R.H., R. GOLDSMITH, I.F.G. HAMPTON, H.E. LEWIS:
The mechanism of the increase in sweating capacity induced by heat acclimatization
J. Physiol. 162, 59 - 60 (1962)

16. FOX, R.H., J.W. JACK, D.J. KIDD, S. ROSENBAUM:
Observations in climatic chamber
Army Personnel Research Commitee,
Med. Res. Canc., London, Rept. No. APRC 61, 25 (1962 [a])

17. FOX, R.H., R. GOLDSMITH, I.F.G. HAMPTON, H.E. LEWIS:
The nature of the increase in sweating capacity produced by heat acclimatization
J. Physiol. London 171, 368 - 76 (1964)

18. FOX, R.H., R. GOLDSMITH, I.F.G. HAMPTON, T.J. HUNT:
Heat acclimatization by controlled hyperthermia in hot-dry and hot-wet climates
J.Appl. Physiol. 22(I), 39 - 46 (1967)

19. GERKING, S.D., S. ROBINSON:
Decline in the rates of sweating of men working in severe heat
Amer. J. Physiol. 147, 370 - 8 (1946)

20. GERKING, S.D., S. ROBINSON:
Thermal balance of man working in severe heat
Amer. J. Physiol. 149, 476 - 88 (1947)

21. GLASER, E.M.: Acclimatization to heat and cold
J. Physiol. (London) 110, 330, (1950)

22. GAGGE, E.M.: Acclimatization to heat and cold
J. Physiol. (London) 110, 330, (1949)

23. HENSCHEL, A., H.S. McPHILMY:
Field test methods. In: Environmental Physiology and Psychology in arid conditions.
UNESCO 1963

24. HÖFLER, W.: Verlauf der Hitzeakklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima
Z. Tropenmed. Parasitol. 17, 127 (1966)

25. HÖFLER, W.: Hitzeakklimatisation, Hippokrates 39 ,
517 - 24 (1968)

26. HÖFLER, W., J. LADIPOH, U. LAASER:
Beziehung zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheißem Klima
Int. Z. angew. Physiol. 27, 34 - 42 (1969)

27. HORVATH, S.M., W.B. SHELLEY:
Acclimatization to extreme heat and its effect on the ability to work in less severe environment
Amer. J. Physiol. 146, 336 (1946)

28. JUNGMANN, H.: Untersuchungen zur Tropenakklimatisation an Schiffsbesatzungen
Z. Tropenmed. Parasit. 13, 137 - 58 (1962)

29. KERSLAKE, D.McK.:
Errors arising from the use of mean heat exchange coefficients in the calculation of the heat exchange of a cylindrical body in a transverse wind
In: Temperature, its measurement and control in science and industry
Vol.III/3, 183 - Reinhold,New York 1963

30. KUNO, Y.: The physiology of human perspiration
London: Churchill (1956)

31. LASSER, U.R.: Physiologische Reaktionen während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima
Diss. Tübingen 1968

32. LADELL, W.S.S.: Assessment of group acclimatization to heat and humidity
J. Physiol. 115, 296 (1951)

33. LADIPOH, J.: Dissertation Tübingen 1969

34. LEITHEAD, C.S., A.R. LIND:
Heat stress and heat disorders
Casell, London 1964

35. LEE, D.H.K.: Physiology and the arid zone
In: Environmental Physiology and psychology in arid conditions
UNESCO 1963

36. LEHMANN, G.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen im tropischen Klima
Veröff. d. A. G. f. Forschung des Landes Nordrhein - Westfalen, Heft Nr. 144 ,
Köln - Opladen 1965

37. MACPHERSON, R.K.: Physiological response to hot environment
Med. Res. Counc. Spec. Rep. Ser.
No. 298 , London 1960

38. ROBINSON, S.: Acclimatization of older men to work in heat
J. Appl. Physiol. 2o , 583 (1965)

39. ROBINSON, S., M. NIELSEN, J.W. WILSON:
Adaption of white men and negroes to prolonged work in humid heat
Amer. J. Trop. Med. 21 , 261 (1941)

40. ROBINSON, S., E.S. TURELL, H.S. BELDING, S.M. HORVATH:
Rapid acclimatization to work in hot climates
Amer. J. Physiol. 140 , 168 (1943)

41. SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima
Dissertation Tübingen 1966

42. SCHWEMMLEIN, P.: Akklimatisation während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen trockenheißen Klima
Dissertation Tübingen 1969

43. STRYDOM, N.B., C.H. WYNDHAM, C.G. WILLIMS, J.F. MORRISON, G.A.G. BREDALL, A.J.S. BENADE, M. von RAHDEN: Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning
J.Appl. Physiol. 21, 636 = 42 (1966)

44. TAYLOR, H.L., A.F. HENSCHEL, A. KEYS: Cardiovascular adjustment of men in rest and work during exposure to heat
Amer. J. Physiol. 139, 538 (1943)

45. THAYSEN, J.H., J.C. SCHWARTZ: Fatigue of sweat glands
J. Clin. Invest. 34, 1.719 - 25 (1955)

46. VAN ACKEREN: Dissertation , Tübingen 1971

47. WENZEL, H.G.: Die Beurteilung des Arbeitsklimas
In: Handb. d. ges. Arbeitsmedizin Bd. I
Berlin-München-Wien 1961

48. WYNDHAM, C.H.: Effect of acclimatization on circulatory responses to high environmental temperatures
J. Appl. Physiol. 4 , 383 (1954)

49. WYNDHAM, C.H., N.B. STRYDOM, H.M. COOKE, J.S. MARITZ:
The temperature responses of men after two methods of acclimatization
Arbeitsphysiologie 18, 112 (1960)

Meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. W. Höfler danke ich herzlich für die Überlassung des Themas, für die persönliche Hilfe bei der Durchführung des Versuches, sein ständiges Interesse am Fortgang der Arbeit und seine hilfreiche Anleitung zur Auswertung, sowie für die vielen Ratschläge beim Zusammenstellen der Ergebnisse.

Herrn Professor Dr. Knüttgen, Direktor des Tropenmedizinischen Instituts der Universität Tübingen, spreche ich meinen besten Dank aus für die Möglichkeit der Benutzung des Instituts.

Bei Frl. Hermann bedanke ich mich für ihre großartige Hilfe bei der Durchführung des Experimentes, für die Auswertung der Ergebnisse und die Anfertigung der Photographien.

Lebenslauf

Am 2. 1. 1943 wurde ich, Mahmood Al-Samarai, als Sohn des Amin Al-Samarai und seiner Ehefrau Manua in Chbenat-Bakuba/Irak geboren.

In Bakuba besuchte ich von 1949 bis 1955 die Volksschule, anschließend die Oberschule und legte dort 1960 das Abitur ab.

1961 immatrikulierte ich mich an der Universität Tübingen. Im SS 1962 - nachdem ich 2 Semester lang als Gasthörer an der Universität eingeschrieben war - nahm ich das Studium der Humanmedizin auf.

Im Juli 1966 bestand ich die ärztliche Vorprüfung, am 4. Februar 1970 legte ich an der Universität Tübingen das Medizinische Staatsexamen ab.

Meine Medizinalassistentenzeit verbrachte ich am Kreiskrankenhaus Riedlingen/Donau.

Die Approbation als Arzt wurde mir im April 1971 erteilt.